

# KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU

## Maaseutuelinkeinojen koulutusohjelma

Eero Miettinen

Pinnankorkeusmallin hyödyntäminen peltojen täsmäviljelyssä

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2017

Tekijä  
Eero Miettinen

Nimeke  
Pinnankorkeusmallin hyödyntäminen peltojen täsmäviljelyssä

Toimeksiantaja  
Karelia-amk

#### Tiivistelmä

Ravinteiden aiheuttama rehevöityminen on yksi Itämeren ympäristöongelmista. Maatalouden osuus vesien rehevöitymisestä on noin 60 % prosenttia. Tärkeimmät rehevöitymistä aiheuttavat ravinteet ovat fosfori ja typpi. Kasvit tarvitsevat ravinteita kasvaakseen, mutta ongelmana on eroosio: valumavesi kuljettaa maata ja sen mukana ravinteita vesistöihin. Ympäristön ja vesiensuojelun kannalta on tärkeää vähentää eroosiota, jotta ravinteet pysyisivät pellossa kasvien käytettävissä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää pinnankorkeusmallin hyödyntämisen mahdollisuuksia peltojen täsmäviljelyssä. Tutkimuksessa hyödynnettiin maanmittauslaitoksen avointa laserkeilausaineistoa. Eroosiomalli laskettiin ArcMap-ohjelman avulla, minkä jälkeen peltolohko rajattiin sekä tehtiin tarvittavat suodatukset. 10 % peltolohkon eroosioherkimmistä alueista rajattiin polygoniksi, jonka perusteella lannoitus suunniteltiin Suonentiedon TaskManager-ohjelmalla. Lannoitus suunnitelmassa jätettiin lannoittamatta peltolohkon pinta-alasta eroosioherkin 10-%:inen.

Jatkotutkimusta tarvitsee tehdä vielä lisää liittyen ympäristöhyötyihin, väheneekö ravinteiden valunta ojiin, sekä miten pellon sadontuottokyky muuttuu mikäli 10 %:tia pellon pinta-alasta jätetään lannoittamatta. Käytetäänkö ”ylimääräinen” lannoite peltolohkon alueilla, joilla on potentiaalia käyttää suurempi määrä ravinteita hyödyksi ja samalla tuottaa suurempi sato.

Kieli  
Suomi

Sivuja 37  
Liitteet 0

Asiasanat  
RUSLE, täsmäviljely, täsmälannoitus, lietalanta

Author  
Eero Miettinen

Title  
Using digital elevation model on precision farming

Commissioned by  
Karelia-amm

#### Abstract

Baltic Sea eutrophication caused by nutrients is one of the environment challenges. Agriculture causes about 60% percent of the eutrophication. Phosphorus and nitrogen are the most important nutrients that cause the eutrophication. Plants need nutrients to grow, but the problem is erosion, runoff water carries soil and nutrients to lakes and rivers. For environment and water-shed protection it is important to decrease erosion to keep nutrients available for plants.

The purpose of this thesis was to find out the possibilities of using digital elevation model on precision farming. This research exploited open laser scanning data, produced by National Land Survey of Finland. Erosion model was calculated by ArcMap program, then field sections was defined and filtered. 10 percent of most erosion sensitive area was defined to polygon which was base of precision fertilization design to Suonentieto TaskManager program. 10 percent of the most erosion sensitive area was not fertilized.

There is need for further research concerning in environmental benefits. Will nutrient runoff be decrease to ditches or how yield will change if 10 percent of field area is not fertilized. Or is it reasonable use the excessive nutrients to areas where the crops can use more nutrients without risk of erosion and to achieve potentially higher yield

Language  
Finnish

Pages 37  
Appendices 0

Keywords  
RUSLE, precision farming, precision fertilization, manure

## Sisällys

1	Johdanto .....	6
2	Tietoperusta .....	7
2.1	Täsmäviljely .....	7
2.2	GPS-paikannus .....	9
2.2.1	Korjaussignaalit .....	9
2.2.2	DGPS .....	10
2.2.3	GLONASS .....	10
2.2.4	WAAS ja EGNOS .....	10
2.2.5	RTK .....	11
2.3	Korkeusmalli .....	12
2.4	Laserkeilaustekniikka .....	13
2.5	GIS-järjestelmä eli paikkatieto .....	14
2.6	RUSLE-malli .....	16
2.6.1	RUSLE-mallin tekijät .....	16
2.6.2	Sadetekijä R .....	16
2.6.3	Maaperätekijä K .....	17
2.6.4	Pituus- ja jyrkkyystekijä LS .....	18
2.6.5	Maapeitetekijä C .....	18
2.6.6	Suojatekijä P .....	19
2.7	Aikaisemmat tutkimukset .....	20
3	Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet .....	21
4	Tutkimuksen toteuttaminen .....	22
4.1	Tutkimusmenetelmät ja aineiston keruu .....	22
4.2	Aineiston käsittely ja analysointi .....	22
5	Opinnäytetyön prosessi .....	24
5.1	RUSLE- malli ArcMap ohjelmalla .....	24
5.1.1	Sadetekijä R .....	27
5.1.2	Maaperätekijä K .....	28
5.1.3	Pituus- ja jyrkkyystekijä LS .....	29
5.1.4	Maapeitetekijä C .....	29
5.1.5	Suojatekijä P .....	30
5.2	Lannoitus suunnitelma .....	30
6	Koneet ja välineet .....	32
7	Pohdinta .....	33
7.1	Johtopäätökset .....	33
7.2	Menetelmän ja toteutuksen arviointi .....	34
7.3	Tutkimuksen luotettavuus ja virhemahdollisuudet .....	34
7.4	Oppimisprosessi ja ammatillisen kasvun ja kehityksen kuvaus .....	34
7.5	Toimenpidesuositukset ja jatkotutkimus .....	35
	Lähteet .....	37

## Taulukot

Taulukko 1 Suomalaisia maalajeja vastaavia K-arvoja US- ja SI-yksiköissä

Taulukko 2 C-arvot

Taulukko 3 5 x 5 metrin pikseleiden määrät.

#### Kuvat

- Kuva 1. Digitaalinen korkeusmalli (Kuva: The Inertia 2016).
- Kuva 2. Laserkeilainmittauksen periaate (Kuva: Tekniikka&Talous 2008).
- Kuva 3. Vektorimuotoisen (vas. alh.) ja rasterimuotoisen (oik. alh) paikkatietoaineiston tapa kuvata todellista ympäristöä (ylh.). Vektoriaineisto koostuu aluemaisista vektoriobjekteista, kun taas rasteriaineisto rasteriruudukosta eli pikseleistä. Jokainen pikseli saa yhden arvon. (Paikkaoppi 2016.)
- Kuva 4. Peltolohko polygon Google Earthiin upotettuna
- Kuva 5. R-tekijä Suomessa (Kuva: MTT Raportti 133 2014).
- Kuva 6. TaskManager lannoitus suunnitelma
- Kuva 7. ArcMap lannoitus suunnitelman polygon

#### Kuviot

- Kuvio 1. Eroosioherkät alueet ovat pinta-alaltaan pieniä.

# 1 Johdanto

Tässä opinnäytetyössä selvitetään pinnankorkeusmallin hyödyntämisen mahdollisuuksia peltojen täsmäviljelyssä, ja toimeksiantaja on Karelia-ammattikorkeakoulu. Hanke on yksi osa-alue Savonia-ammattikorkeakoulun isompaa hanketta. Karelia-ammattikorkeakoulun tehtävänä hankkeessa on selvittää täsmälannoituksen mahdollisuuksia.

Karelia-ammattikorkeakoulu selvittää hankkeessa pinnankorkeusmallin avulla peltojen eroosiolle alttiit paikat. Pinnankorkeusmallin perusteella tehdyn eroosiokartan avulla voidaan ennustaa huuhtoumille alttiit paikat, jonka perusteella tehdään paikkakohtainen lannoitussuunnitelma. (Ravinnerenki 2017.)

Kyseessä on toiminnallinen opinnäytetyö, jonka tarkoituksena on selvittää, onko mahdollista hyödyntää pinnankorkeusmallin perusteella tehtyä täsmäviljelysuunnitelmaa nykyisten lannoitteen levityslaitteiden kanssa. Pelloille tehdään pinnankorkeusmalli, jolloin voidaan selvittää pintavalunnalle ja ravinnehuuhtoumille alttiit pellon osat.

Valitsin täsmäviljelyyn liittyvän aiheen, koska olen erittäin kiinnostunut peltoviljelyn uusista mahdollisuuksista. Täsmäviljely mahdollistaa viljelyn luonnonsuojelun näkökulmasta tinkimättä taloudellisista tavoitteista. Haluan selvittää laitteiden tekniset mahdollisuudet sekä yhteensopivuuden. On paljon yrityksiä, jotka ovat kiinnostuneita täsmäviljelystä, mutta yrityksillä on omanlainen lähestymistapa, ja tämä aiheuttaa yhteensopivuusongelmia.

## 2 Tietoperusta

### 2.1 Täsmäviljely

Täsmäviljely perustuu tarkkaan paikkatietoon, joka kerätään erikseen jokaiselle tilalle. Tuotantopanosten käyttöä säädellään kasvuston sekä maaperän tarpeiden perusteella. Täsmäviljelyn tavoitteena on hyödyntää tuotantopanokset mahdollisimman tehokkaasti. Tarkasti määritellyt tuotantopanokset sekä määrät, ovat avainasemassa ympäristönsuojelussa. Oikein valitut tuotantopanokset, sekä tarkat määrät laskevat panosten käyttöä ja parantavat kannattavuutta. (Haapala 2016.)

Tuotannon seuraaminen parantaa viljelyn laatua, ja mahdollistaa tarkan jäljitettävyyden myös muissa elintarvikeketjun vaiheissa. Tuotantomuodosta riippumatta täsmäviljelyn mahdollisuuksia voidaan hyödyntää. Säädettyvät panokset vaihtuvat tuotantomuodon mukaan, luomussa käytetään orgaanisia lannoitteita kemiallisten sijaan. Säädettyjä panoksia ovat mm. kasvinsuojeluaineet, lannoitteet sekä siemenet. Täsmäviljelyksi luetaan kohdennettu muokkaus sekä muut paikallisesti säädetty tekijät. (Haapala 2016.)

Tarkka paikkatieto on täsmäviljelyn perusta. Työt ja panosten määrät suunnitellaan etukäteen sekä kirjataan tarkasti ylös. Satokartoitus on täsmäviljelyn tärkeimmistä asioista, satokarttojen perusteella voidaan arvioida viljelyn onnistumista. Sääolosuhteet, sekä muut vastaavat ulkoiset tekijät jotka voivat muuttaa sadon määrää on otettava huomioon arvioitaessa täsmäviljelyn onnistumista. (Haapala 2016.)

Täsmäviljelyn oleellisin asia on tuotantotavan säätäminen paikkatiedon perusteella ja käytettyjen panosten paikkakohtainen mittaus. Silmäääräinen tai arvioon perustuva säätö ei ole riittävä. Suunnittelun, toteutuksen ja dokumentoinnin on oltava resoluutioltaan vähintään 5 x 5 metriä. (Haapala 2016.)

Täsmäviljelysuunnitelman tulee sisältää suunnitelma panoksien käytöstä jotka ovat sidottuja tarkkaan karttapohjaan. Valitaan tärkeimmät tuotantopanokset suunnitteluun esimerkiksi siemenet ja lannoitteet. Pohjaksi tulee kerätä näytteitä kasvustosta ja maaperästä jotka ovat sidottuna paikkatietoon. Pelloille määritellään paikat näytteenottoa varten, näytteiden määrä ja paikka riippuvat pellon vaihteluista. Dokumentoidut tiedot säilytetään eri vuosilta, tietojen perusteella voidaan tarkastella viljelyhistoriaa ja tehdä erilaisia vertailuja. (Haapala 2016.)

Haapala (2016) kertoo täsmälannoituksesta seuraavaa: ”Täsmälannoitus kuuluu kaikkiin täsmäviljelysuunnitelmiin. Sen lisäksi voidaan toteuttaa muita, kuten täsmäruiskutusta, -kuivatusta, -sadetusta tai -muokkausta. Karjatilalla täsmäviljelysuunnitelmaan liittyy aina lannankäsittelyn suunnittelu. Toteutus perustuu täsmäviljelysuunnitelmaan. Toteutunut säätö tulee tallettaa seurantatiedoksi, jota käytetään seuraavien viljelytoimenpiteiden suunnittelussa.”

Täsmäviljelyä varten tilalle tarvitaan monenlaisia laitteita, tarkka GPS-laitteisto on ehdoton vaatimus täsmäviljelyä varten. Laitteiston tarkkuus kartoitukseen oltava vähintään  $\pm 0,5$  metriä. Viljelijän tulee osata käyttää laitteita sekä ohjelmistoja. Muita hankintoja ovat esimerkiksi sadonmittaus laitteisto, työkoneet joilla pystytään säätämään panoksien määrää paikkatiedon perusteella (Haapala 2016.)



## 2.2 GPS-paikannus

Yhdysvaltain puolustusministeriön ylläpitämä ja rahoittama GPS-järjestelmä koostuu tällä hetkellä 32 satelliitista, jotka kiertävät maata noin 20 200 kilometrin korkeudessa. (Paikkatietokeskus 2016).

Satelliittipaikannus perustuu tarkkaan ajanmääritykseen: satelliitin lähettämän radiosignaalin lähetysajankohdan ja vastaanottoajankohdan erotuksesta saadaan signaalin kulkuaika, joka kertoo satelliitin ja vastaanottimen välisen etäisyyden. (Paikkatietokeskus 2016).

Neljällä etäisyysmittauksella määritetään vastaanottimen kolmiulotteiset paikka-koordinaatit maailmanlaajuisessa koordinaattijärjestelmässä ja aikaerotus vastaanottimen kellon ja satelliittijärjestelmän ajan välillä. (Paikkatietokeskus 2016).

GPS:n avulla saavutettu paikannustarkkuus vaihtelee muutamista millimetreistä useisiin kymmeniin metreihin, riippuen toimintaympäristöstä, sääoloista ja käytetystä vastaanotintekniikasta. (Paikkatietokeskus 2016).

### 2.2.1 Korjaussignaalit

GPS-signaalia häiritsee monet erilaiset häiriötekijät kuten katvealueet, säätila, ilmakehän muutokset sekä kellon epätarkkuus. GPS:n tarkkuuden parantamiseksi on kehitetty erilaisia korjaussignaaleja. Tarkimmat signaalit ovat maksullisia, mutta ne pystyvät jopa  $\pm 2,5$  cm tarkkuuteen. Tämä tarkkuus on riittävä kaikkeen maataloustyöhön.  $\pm 2,5$  cm tarkkuus mahdollistaa myös pellon pinnanmuotoilun jolla voidaan parantaa pellon viljely olosuhteita ja saada laadukkaampi sato.

Normaaleilla laitteilla ilman maksullista korjaussignaalia päästään  $\pm 30$  cm tarkkuuteen, joka on riittävä moniin töihin, kuitenkin esimerkiksi riviviljelyssä tarvitaan tarkempi paikannus.

### 2.2.2 DGPS

Differentiaalinen paikanmääritys eli DGPS pienentää paikanmäärityksen virheitä differentiaalikorjauksen avulla. Korjaukset välitetään vastaanottimelle radion tai matkapuhelimen välityksellä. (Maanmittauslaitos 2016).

DGPS-sovelluksessa toinen vastaanotin ja tukiasema sijaitsevat tunnetulla pisteellä. Tämän havaittuihin paikkoihin tehtävät korjaukset oikeaan, tunnettuun paikkaan nähden välitetään liikkuvalla vastaanottimelle, joka tekee omaan paikkaansa samansuuruisen korjauksen. Jos kummankin vastaanottimen paikkaan vaikuttavat samat virheet, saadaan liikkuvaan vastaanottimeen vaikuttavat virheet lähes kokonaan poistetuiksi. Vielä muutaman sadan kilometrin päässä satelliitin ratavirheet ja ionosfääri vaikuttavat suunnilleen samalla tavalla. (Poutanen 1999, 202.)

### 2.2.3 GLONASS

GLONASS eli Globalnaja Navigatsionnaja Sputnikovaja Sistema on venäläinen GPS-järjestelmä. Järjestelmä on vastaavanlainen kuin amerikkalainen tai eurooppalainen GPS. GLONASS ei ole itsessään korjaussignaali, vaan tarkkuuden parantuminen perustuu usean satelliitin näkyvyyteen. (Space today 2006.)

### 2.2.4 WAAS ja EGNOS

WAAS ja EGNOS muistuttavat toimintaperiaatteiltaan DGPS:ää. Kummassakin on joukko GPS-signaalia vastaanottavia ja virhetietoja kokoavia maa-asemia. Niiltä nämä tiedot välitetään korjausalgoritmeja laskeville ja GPS-järjestelmän kuntoa tarkkaileville keskusasemille. Niiltä korjausarvot lähetetään edelleen tukiasemaverkon kautta päiväntasaajan yläpuolella, noin 36 000 kilometrin korkeudella nk. geostationäärisillä kiertoradoilla oleville tietoliikennesatelliiteille. Nämä maasta katsoen paikallaan pysyvillä kiertoradoilla lentävät satelliitit lähet-

tävät paikannusta tarkentavan tiedon paikantimiin GPS-järjestelmän taajuudella. (Miettinen 2006, 54–56.)

WAAS:ssa signaalit tulevat Tyynen valtameren ja Atlantin länsiosan yläpuolella olevasta Inmarsat 3 -satelliitista. Euroopan aluetta palvelee myös kaksi Inmarsat-satelliittia, toinen itäisen Atlantin ja toinen Intian valtameren yläpuolella. (Miettinen 2006, 54–56.)

Päiväntasaajan yläpuolella olevat satelliitit ovat Suomesta katsottuna niin lähellä horisonttia, että metsäisissä tai muuten katveisissa paikoissa niiden signaaleista tuskin on paljoakaan iloa. Lisäksi niiden tarkentavasta vaikutuksesta pääsevät osallisiksi vain ne, jotka ovat korkeintaan 100–150 kilometrin etäisyydellä järjestelmän lähimmästä maa-asemasta, joka nykyisen tietämyksen mukaan tulee olemaan Norjan Tromassa. WAAS-ominaisuuden päällä pitämisestä ei ainakaan pitäisi olla vahinkoa, kunhan tiedosta edellä kerrotut ongelmat. (Miettinen 2006, 54–56.)

Suomessa toimii yksi EGNOS-järjestelmän valvonta-asema, joka sijaitsee Viroлахdessa (Paikkatietokeskus 2016).

## 2.2.5 RTK

RTK-mittauksessa, eli reaaliaikaisessa kinemaattisessa (Real Time Kinematic) mittauksessa laskennat voidaan suorittaa reaaliajassa. Tämä tarkoittaa sitä, että mitattujen pisteiden koordinaatit saadaan heti mitaushetkellä. RTK-mittauksessa tunnetulla pisteellä olevan vastaanottimen ja kartoitusvastaanottimen välille tarvitaan tiedonsiirtoyhteys. (Maanmittauslaitos 2016.)

Perinteisen RTK-mittauksen on viime vuosina korvannut kiinteisiin tukiasemiin perustuva verkko-RTK-menetelmä. Suomessa ja Maanmittauslaitoksella on käytössä virtuaalinen VRS-menetelmä (Virtual Reference Station). Menetelmässä kartoitusvastaanottimen lähelle luodaan virtuaalinen tukiasema, joka määrittyy kiinteään tukiasemaverkon havaintojen ja erilaisten virhelähteiden mallinnuksen avulla. (Maanmittauslaitos 2016.)

Mittaaminen VRS-verkossa:

Kartoitusvastaanotin (mittaaja) lähettää sijaintinsa VRS-laskentakeskukseen GSM/GPRS-yhteyttä käyttäen.

Laskentakeskus muodostaa virtuaalisen tukiaseman mittaajan paikkaan.

Laskentakeskus sijoittaa virtuaaliseen tukiasemaan lähimmän todellisen tukiaseman havaintodatan, sekä määrittää ja interpoloi havaintoihin virtuaalitukiaseman paikassa vaikuttavat virhelähteet.

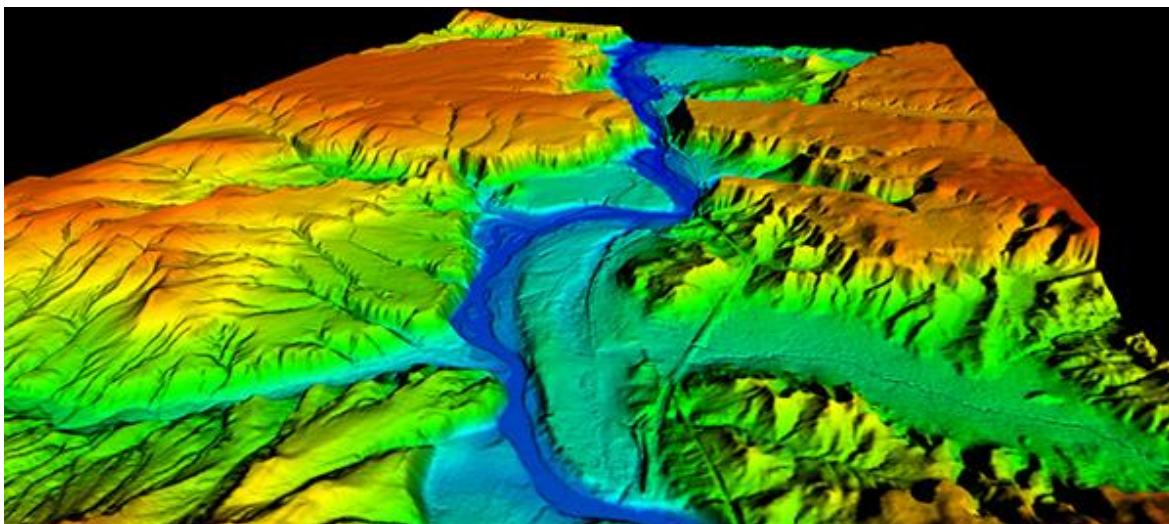
Tämän jälkeen laskentakeskus aloittaa RTK-korjauksen lähettämisen kartoitusvastaanottimelle ikään kuin se tulisi tukiasemalta, joka sijaitisi aivan mittauspaikan vieressä.

Tällaisella verkkomenetelmällä päästään perinteistä RTK-menetelmää parempaan tarkkuuteen, sillä etäisyydestä johtuvasta virheestä päästään eroon lähes kokonaan. Lisäksi menetelmä tuo myös kustannus- ja aikasäästöä, koska omasta tukiasemasta ja sen pystyttämisestä voidaan luopua. (Maanmittauslaitos 2016.)

## 2.3 Korkeusmalli

Korkeusmalliksi (Digital Elevation Model, DEM) kutsutaan maanpinnan muotojen numeerista esitystä, joka sisältää sekä varsinaisen pinnanmuotoja kuvaavan korkeuspisteiden joukon, että menetelmän laskea arvoja korkeuspisteiden väliin. (Paikkatietokeskus 2016.)

Korkeusmalli on keksintö, joka on vapauttanut korkeustiedon keräämisen ja tallentamisen perinteisen kartografian periaatteista. Ennen korkeusmallien käytön leviämistä valtakunnalliset korkeustiedot oli tallennettu paperikarttojen korkeuskäyräesityksiin ja karttojen valmistamisessa käytettyihin painolevyihin. Korkeuskäyräesitys on edelleen käyttökelpoinen tapa visualisoida pinnanmuotoja, mutta tiedon tallentamisen näkökulmasta niihin sisältyy kaksi puutetta: 1) Käyrät on pinnanmuotojen epäjatkuva esitystapa, jossa käyrien välissä olevista pinnanmuodoista ei saada mitään tietoa. 2) Käyrät joudutaan luomaan visualisoinnin ehdoilla, jolloin maanpinnan muodot esitetään kartografisen yleistyksen sääntöjen mukaisesti. Tässä prosessissa osa pinnanmuotojen yksityiskohdista hävitetään ja osa ylikorostetaan tarkoituksellisesti. Nykyään korkeustiedon tallentaminen ja visuaalinen esittäminen ovat aidosti erillisiä asioita ensimmäistä kertaa kartografian historian aikana, koska laserkeilaus on yleistynyt korkeusmallien tuotantomenetelmänä. (Paikkatietokeskus 2016.)



Kuva 1. Digitaalinen korkeusmalli (Kuva: The Inertia 2016).

## 2.4 Laserkeilaustekniikka

Laserkeilaus perustuu lentokoneessa olevan keilaimen lähettämiin laserpulssihin, jotka maanpintaan osuessaan heijastuvat takaisin vastaanottoon. Tarkat paikannustiedot saadaan käyttämällä GPS- ja lentokoneen kallistumiskulmista kertovia inertialaitteita keilauslennon aikana. Niillä mitattavien paikannustietojen sekä laserpulssien kulkeman ajan mittauksen perusteella saadaan tarkasti paikannettua kunkin pulssiosuman saaneen kohteen tasosijainti ja korkeus. (Maanmittauslaitos 2016.)

Laserkeilain on aktiivinen sensori, joka tuottaa itse mittaukseen tarvittavan energian. Osa keilaimesta lähtevästä laserpulssista tunkeutuu metsäisilläkin alueilla oksiston läpi maan pintaan, jolloin saadaan luotettavaa ja tarkkaa korkeustietoa myös peitteisiltä alueilta. Tämä on laserkeilaustekniikan suurimpia etuja verrattuna aikaisempiin korkeustiedon tuottamismenetelmiin, kuten ilmakuvatulkintaa. (Maanmittauslaitos 2016.)



Kuva 2. Laserkeilainmittauksen periaate (Kuva: Tekniikka&Talous 2008).

## 2.5 GIS-järjestelmä eli paikkatieto

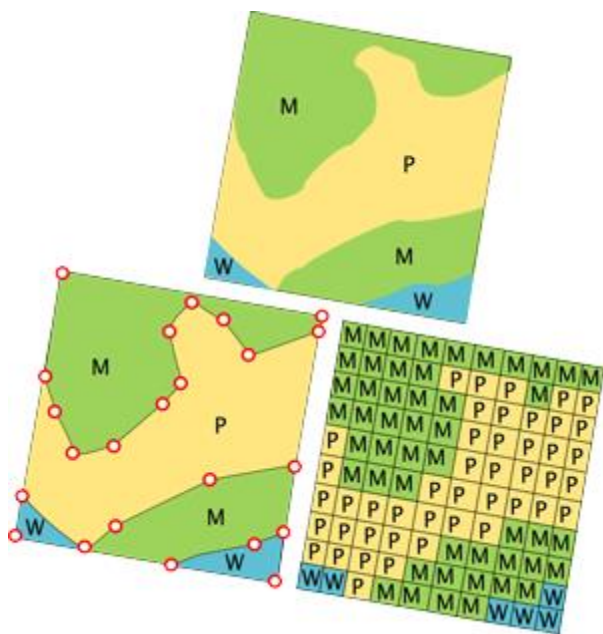
Paikkatieto, eli GI tulee englannin kielen lyhenteestä Geographic Information. Paikkatieto sisältää tietoa, joka on koordinaatteihin sidottua esimerkiksi korkeuden tai lämpötilan. Usein paikkatieto on numeerista tietoa, mutta se voi myös sisältää tekstiä tai kuvia. Paikkatiedoksi se kuitenkin muodostuu vasta silloin kun tiedolle annetaan maantieteellinen sijainti. (Paikkaoppi 2016.)

Paikkatietoaineisto muodostuu, kun yhdistetään sijaintitiedot ja ominaisuustiedot esimerkiksi taulukkoon. Aineistoa käsitellään tietokoneella, johon on asennettu paikkatietojärjestelmä. Tiedot tallennetaan tietokantoihin, joita voidaan analysoida joustavasti, esimerkiksi taulukoita tai karttoja apuna käyttäen. Useita aineistoja voidaan tutkia samanaikaisesti, joka mahdollistaa eri tietojen vertailun keskenään. (Paikkaoppi 2016.)

Aikaisemmin monet paikkatietojärjestelmiä hyödyntävät työt tehtiin käsin, työ oli huomattavasti hitaampaa. Tietotekniikan suurimmat edut paikkatietojärjestelmien käytössä saavutetaan laajojen kokonaisuuksien käsittelyssä, se on huo-

mattavasti nopeampaa ja joustavampaa. Paikkatiedon mahdollisuudet ovat rajattomat, mutta se vaatii käyttäjältä vastuuta ja osaamista. Ammattilaiskäytössä paikkatietojärjestelmiä on ruvettu hyödyntämään paljon sen nopeuden ja joustavuuden ansiosta. (Paikkaoppi 2016.)

Paikkatietoa kuvataan usein joko vektori- tai rasterimuotoisessa aineistossa, tai niitä voidaan käyttää yhdessä. Rasterimuotoinen aineisto muodostuu pikseleistä, jotka ovat samankokoisia ruutuja. Rasterin resoluutio riippuu ruutujen koosta, esimerkiksi 5 x 5 metrin ruuduista koostuvan rasterin resoluutio on 5 metriä. Pikseleille tallennetaan ominaisuus- ja sijaintitiedot erikseen, väri kuvaa pikselin ominaisuutta. Vektorimuotoinen aineisto ei sisällä pikseleitä tai ruutuja, vaan kohteet esitetään alueina, pisteinä tai viivoina. (Paikkaoppi 2016.)



Kuva 3. Vektorimuotoisen (vas. alh.) ja rasterimuotoisen (oik. alh) paikkatietoaineiston tapa kuvata todellista ympäristöä (ylh.). Vektoriaineisto koostuu aluemaisista vektoriobjekteista, kun taas rasteriaineisto rasteriruudukosta eli pikseleistä. Jokainen pikseli saa yhden arvon. (Paikkaoppi 2016.)

## 2.6 RUSLE-malli

Eroosion mukana kulkeutuu suuri osa maataloudesta vesistöihin päätyvästä fosforikuormasta. RUSLE-malli mahdollistaa eroosioriskin ennustamisen erilaisilla pelloilla. RUSLE-mallia hyödyntämällä voitaisiin kohdentaa eroosiotorjuntaan liittyvät toimet pelloille, joissa eroosio riski on suuri. Ympäristötuen toimenpiteiden paremmalla kohdentamisella voitaisiin vähentää fosforikuormitusta merkittävästi.

### 2.6.1 RUSLE-mallin tekijät

RUSLE voidaan laskea paperilla, erillisillä tietokoneohjelmilla, taulukkolaskennassa ja paikkatietojärjestelmissä. Yhdistämällä malli paikkatietojärjestelmään, käyttämällä tarkkoja aineistoja ja uusia laskentamenetelmiä voidaan luoda karttoja, joiden avulla malli aukenee hyvin myös käytännön tilanteisiin maatiloilla. Näin voidaan havainnollistaa eroosion suhteellisia ja absoluuttisia määriä peltolohkojen välillä ja lohkojen sisällä. (Luonnonvarakeskus 2014.)

RUSLE-mallin kaava koostuu viidestä tekijästä  $A = R \times K \times LS \times C \times P$

### 2.6.2 Sadetekijä R

Sade esitetään RUSLE-yhtälössä tekijällä R. Laskennassa ajatellaan sateen potentiaalienergian muuttuvan liike-energiaksi ja aiheuttavan eroosiot. Yksittäisen sadepisaran eroosiovaikutus voidaan kirjoittaa muotoon  $E = mv^2/2$ . R-tekijän arvo vastaa liike-energiaa kerrottuna puolentunnin sateen maksimi-intensiteetillä I30. (Luonnonvarakeskus 2014.)

Tässä tutkimuksessa hyödynnetään Renald ja Freimund (1994):  $R = 0.0483 \times P^{1.61}$ . Tällä yhtälöllä saadaan keskisadannalla 660 mm/v arvo 1 673 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> vuosi<sup>-1</sup>, mikä on varsin lähellä Minnesotan keskiarvoa. Tämä yhtälö kehitettiin USA:n manneralueille, joissa vuosisadanta on vähemmän kuin 850 mm/v. Suomessa vuosisadanta vaihtelee etelän 700 mm:n ja pohjoisen 500 mm:n välillä. (Luonnonvarakeskus 2014.)



### 2.6.3 Maaperätekijä K

Maaperätekijä kuvaa maan taipumusta kulua, erodoitua. Se riippuu maan paikallisista ominaisuuksista ja voidaan määrittää maaperänäytteistä, maaperäkarttojen avulla, paikalla tehdyllä maaperätutkimuksella tai näiden kaikkien yhdistelmällä. (Luonnonvarakeskus 2014.)

Kun K-arvoa lasketaan näytteestä, määritetään seuraavat muuttujat (Roose ym. 1989).

Hiesun ja hienon hiekan prosenttiosuudet, raekoot 0,002 - 0,100 mm

Eloperäisen aineksen prosenttiosuus

Maan mururakenne, ts. murun kestävyys, 4 luokkaa käytössä

Maan vedenläpäisevyys, 6 luokkaa käytössä.

Pohjoismaiden savimaiden eroosioherkkyydestä ei ole yhtenevää käsitystä. Arvellaan, että ne ovat eroosioherkempiä kuin savimaat muualla maailmassa. Suuri saveksen määrä lisää hiukkasten välistä koheesiota (keskinäistä vetovoimaa) ja vastustaa näin eroosiota. Vedet järvissä ja joissa ovat kuitenkin pohjoismaiden savialueilla yleensä sameita. (Luonnonvarakeskus 2014.)

Taulukko 1. Suomalaisia maalajeja vastaavia K-arvoja US- ja SI-yksiköissä (Luonnonvarakeskus 2014)

Maalaji	K_US	K_SI (t ha MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )
AS	0.206	0.027
Ct	0.060	0.008
HHk	0.102	0.013
HHT	0.236	0.031
HS	0.431	0.057
HsS	0.250	0.033
HtS	0.282	0.037
KHt	0.124	0.016
Lj	0.303	0.040
LjS	0.303	0.040

#### 2.6.4 Pituus- ja jyrkkyystekijä LS

Rinteen pituus ja jyrkkyys yhdistetään yleensä yhdeksi tekijäksi RUSLE:ssa ja tekijä vaikuttaa selvimmin eroosiokartan ulkoasuun. Tekijä voidaan laskea monella eri tavalla. LS-arvojen laskeminen on suurin haaste RUSLE:n käytössä erityisesti karttapohjaisissa malleissa. Perinteisesti tarkimmat arvot on saatu mittaamalla käsin kentällä. Laserkeilausaineisto käytännössä poistaa käsin mittaamisen tarpeen ja mahdollistaa pituuden ja jyrkkyuden laskemisen myös sellaisissa tilanteissa, joissa käsin mittaaminen ei ole mahdollista. Täysin luotettavia algoritmeja LS-tekijän laskemiseksi laserkeilausaineistosta ei kuitenkaan ole vielä kehitetty. (Luonnonvarakeskus 2014.)

Tässä tutkimuksessa käytettiin MML:n laserkeilaus aineistoa, jossa vertikaalinen tarkkuus on n. 15 cm.

#### 2.6.5 Maapeitetekijä C

Maanpeitetekijä C kuvaa viljellyn maan suhteellista eroosioherkkyyttä paljaaseen maahan verrattuna. Täysin suojaton paljas maa saa arvon 1 ja kevyesti metsäinen alue arvon 0.1. Tekijällä ei ole yksikköä. (Luonnonvarakeskus 2014.)

RUSLE-yhtälössä tekijää arvioidaan yleensä neljän ja joskus viiden alatekijän avulla seuraavasti:

C1) Prior Land Use Tällä pyritään arvioimaan maan muokkauksen aiheuttaman löyhenemisen sekä maahan sitoutuneen biomassan vaikutusta eroosioon.

C2) Canopy Cover Latvuspeitto on se kasvillisuuden osa maanpinnan yläpuolella, joka ottaa vastaan sadepisarat mutta ei kosketa maata.

C3) Surface cover on se aines, joka on kontaktissa maan kanssa ja vastaanottaa sekä sadepisaroiden iskut, että hidastaa pintavaluntaa. Ollakseen tehokas peitteen täytyy olla kiinnittynyt maahan siten, että se ei irtoa tuulen tai pintavalunnan mukana. Yleensä maanpeite toimii paremmin noroeroosion kuin norojen välisen eroosion estämisessä (Foster. 1982). Suomen pelloilla eroosio on RUSLE-mallin mukaan pääasiassa norojen välistä eroosiota, näin ollen kasvipeite ei välttämättä ole paras mahdollinen tapa sen estämiseen.

C4) Surface Roughness Maata häiritsevät toimenpiteet jättävät jälkeensä kahdentyypistä pinnan karkeutta: suuntautunutta ja satunnaista. Kyntö on esimerkki suuntautuneesta karkeudesta.

Suomessa C-tekijää voidaan arvioida valtakunnan tasolla taulukon 4 mukaisesti yhdistämällä Tiken peruslohkoaineistoon IACS-rekisteriin tallennetut kasvulohkojen ominaisuustiedot, kuten tiedot kasvista, kesannoinnista jne. Kalibroinnissa ei käytetty alatekijöitä, vaan sovellettuja kokonaisarvoja kirjallisuuden perusteella Renard (1997). Kun alatekijöi-

hin vaadittavaa tutkimustietoa kertyy Suomesta, niitä voitaneen ottaa myöhemmin huomioon. (Luonnonvarakeskus 2014.)

Taulukko 2. C-arvojen arvioiminen IACS-rekisterin tiedoista (viljelytapaa eli tässä tapauksessa muokkausmenetelmää, ei saada tällä hetkellä mistään rekisteristä). Esimerkissä on käytetty kolmea muokkausmenetelmää: normaali kyntö, kultivointi ja suorakylvö. Vilja- ja nurmimaat voidaan erottaa toisistaan luotettavimmin. Vilja yhdistettynä normaaliin kyntöön  $C = 0,35$  ja nurmi  $= 0,03$ . C tekijän arvoa viljalla on epäilty liian korkeaksi. Esimerkiksi Kotkanojan koekentällä eroosio on ollut kynnetyillä viljaruuduilla 2 - 3-kertainen nurmeen nähden ja näin ollen viljan C-arvon pitäisi olla luokkaa 0,06-0,09, joka taas kansainvälisten tutkimusten mukaan vastaisi lähinnä suorakylvön arvoa (Williams 2009). (Luonnonvarakeskus 2014.)

Taulukko 2. C-arvot (Luonnonvarakeskus 2014.)

Kasvipeite	Viljelytapa	C-tekijä
Vilja	kyntö	0,35
Juurikasvit	kyntö	0,4
Nurmi	kyntö	0,03
Muu	kyntö	0,03
Vilja	kultivointi	0,21
Juurikasvit	kultivointi	0,24
Nurmi	kultivointi	0,02
Muu	kultivointi	0,02
Vilja	suorakylvö	0.0875
Juurikasvit	suorakylvö	0.1
Nurmi	suorakylvö	0.0075
Muu	suorakylvö	0.0075

## 2.6.6 Suojatekijä P

Suojatekijä P edustaa eroosiota vähentäviä toimenpiteitä, joita voivat olla esimerkiksi terassit, suojakaistat ja –vyöhykkeet tai korkeuskäyrien suuntainen viljelytapa. Jos mitään suojamenetelmiä ei käytetä, tekijä saa arvon 1. Esimerkiksi nurmella oleva suojakaista 5 - 10 % kaltevalla rinteellä saa arvon 0,55. Tuotantojärjestelmässä ei vielä käytetä P-arvoa, koska sitä ei voida määrittää valtakunnan tasolla kaikille lohkoille. Kenttien kalibroinnissa käytettiin arvoja amerikkalaisesta kirjallisuudesta.

desta (Renard 1997) ja Lintupajun koekentän tuloksia (Uusikämpä ym. 1996) (Luonnonvarakeskus 2014.)

## **2.7 Aikaisemmat tutkimukset**

Suomenkielisiä tutkimuksia on melko vähän, mutta englanniksi löytyy tutkimuksia paljon liittyen eroosioon sekä RUSLE-malliin.

Gossa Wordofa on tehnyt vuonna 2011 Tampereen ammattikorkeakoulussa opinnäytetyön ”Soil erosion modeling using gis and rusle on the eurajoki watershed finland”. Työssään Wordofa tekee eroosiomallin, jolla ennustetaan Eurajoen alueen eroosiota hyödyntämällä ArcGis-ohjelmaa sekä RUSLE-mallia.

Jyväskylän ammattikorkeakoulussa, Tiina Siimekselä, Tarja Stenman, ja Anneli Ylimartimo tekivät hanketutkimuksen MAISA – Maatalouden vesiensuojelun kehittäminen. Saarijärven vesireitin varrella -hankkeessa (2010 - 2014) tutkittiin peltojen vesistökuormitusta sekä edistettiin vesiensuojelumenetelmien käyttöönottoa ja hyviä käytänteitä.

MTT:n raportti 133 Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus, tutkimuksessa tavoitteena oli tuottaa kalibroidut eroosiokartat mahdollisimman suurelle osalle valtakunnan peruslohkoja ja kehittää karttojen jakelujärjestelmää käyttäjille. Eroosiokarttojen laskemisessa käytettiin RUSLE-eroosiomallia ja uutena lähteenä laserkeilausaineistoa.

### **3 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoitteet**

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää pinnankorkeusmallin hyödyntämisen mahdollisuudet lietelannan täsmälevityksessä. Täsmälevityssuunnitelma tehtiin RUSLE-mallilla, jolla ennustettiin pintavalunnalle alttiit paikat. Lietelannan levitys voi joillakin tiloilla olla ongelma, koska kaikkea lietelantaa ei välttämättä saada mahtumaan pelloille ympäristösitoumuksen takia. Tiloilla joilla kyseistä ongelmaa ei ole, voitaisiin parantaa ravinteiden hyötykäyttöä. Lietelanta levitetäisiin alueille, joissa kasvit voisivat käyttää ravinteet mahdollisimman tehokkaasti pienellä ympäristönkuormituksella. Levittämättä jätettäisiin alueet, joilla RUSLE-mallin perusteella pintavalunta on suurinta.

Lannoituksen täsmentämisellä voitaisiin tehokkaasti estää ravinteiden valumista ympäristöön sekä parantaa tilan kannattavuutta.

Työn tavoitteena on selvittää, onko nykyisellä teknologialla mahdollista tehdä kokonaisuus, jolla voidaan kustannustehokkaasti suorittaa lietteentäsmälevitys.

## **4 Tutkimuksen toteuttaminen**

### **4.1 Tutkimusmenetelmät ja aineiston keruu**

Tutkimuksellinen opinnäytetyö joka pohjautuu analysoituun aineistoon sekä teoreettiseen tutkielmaan. Tutkimuksessa käytetty laserkeilausaineisto on Maanmittauslaitoksen tuottama avoin aineisto, joka voidaan ladata Maanmittauslaitoksen avoimien aineistojen tiedostopalvelusta.

Tutkimuksessa otettiin yhteyttä Suomalaisiin maatalousalan konevalmistajiin, jotka liittyvät opinnäytetyön aiheeseen. Selvitettiin lietevaunujen soveltuvuutta täsmälevitykseen, sekä ovatko yritykset perehtyneet täsmälevityksen mahdollisuuksiin ja haasteisiin tulevaisuudessa.

### **4.2 Aineiston käsittely ja analysointi**

Aineisto käsiteltiin Esrin ArcMap 10.1 ohjelmaa apuna käyttäen. RUSLE-mallin tietojen esittämiseen käytettiin 5 x 5 metrin kokoisia alueita. Näin päätettiin tehdä, koska täsmäviljelyn perustana on säätää 5 x 5 metrin kokoisia alueita erikseen.

Pellosta tehtiin polygon tietojen analysointia varten. Tiedonkeruu aloitettiin lataamalla maanmittauslaitoksen laserkeilausaineisto, joka on .LAZ tiedostomuodossa. ArcMap-ohjelma ei suoraan osaa lukea .LAZ pistepilveä, aineisto muutettiin LASzip-ohjelmalla .LAS tiedostomuotoon jonka ArcMap-ohjelma voi lukea.

ArcMap-ohjelmalla saatiin laserkeilaus aineistosta tehtyä korkeusmalli (Digital Elevation Model, DEM). Korkeusmallista pystyttiin tekemään sen jälkeen RUSLE-malli, jonka perusteella täsmälannoitus suunnitelma tehtiin. Varsinainen täsmälannoitus suunnitelma tehtiin Suonentiedon TaskManager-ohjelmalla. TaskManager tekee työkoneelle vaaditun XML. task-tiedoston. Task-tiedosto siirretään traktorin ISOBUS ohjauslaitteelle joka ohjaa lietevaunun määränsäätöä paikkatiedon perusteella.

## 5 Opinnäytetyön prosessi

### 5.1 RUSLE-malli ArcMap-ohjelmalla

RUSLE-malli laskettiin ArcMap-ohjelmalla, ja malliin lasketaan useita kerroksia, jotka sitten lopuksi yhdistetään. Jokainen kerros sisältää yhden tai useamman arvon, jonka perusteella lopullinen RUSLE-malli muodostuu. Viimeinen kerros muodostetaan kertomalla jokainen kerros yhteen. Kerroksesta muodostuu luku, joka kertoo pellon eroosion kyseiseltä 5 x 5 metrin alueelta muodossa kg/ha/v.

ArcCatalog-ohjelmalla tehdään lasdataset.lasd-tiedosto ja siihen lisätään .las-aineisto sekä valitaan XY koordinaattitiedot (ETRS 1989 TM35FIN (North, East)). Lopuksi Statistics-kohdasta käytetään Calculate-toimintoa, joka laskee ja erottelee pistepilven tiedot. ArcMap-ohjelmalla avataan edellisessä kohdassa tehty LAS-datasettiedosto, josta tehtiin DEM malli.

ArcCatalog Options-valikosta lisätään file type LiDAR LAS-dataset ja näin ohjelma tunnistaa tiedoston.

DEM-malli tehtiin Make LAS Dataset Layer-työkalulla. Input kohtaan valittiin LAS dataset. Class Codes kohdasta valitaan kohta 2, jolloin kerroksesta suodatetaan muut paitsi Maa pisteet. Seuraavaksi käytettiin LAS Dataset to Raster-työkalua johon pohjaksi valittiin maakerros. Interpolointiin käytettiin Triangulation valikosta löytyvää NATURAL\_NEIGHBOR interpolointimenetelmää. Sampling Value-toiminnolla määritettiin solukoko, ja tässä työssä käytettiin solukokoa 5 eli DEM-mallin pikselin resoluutio on 5 metriä.

DEM-mallista laskettiin Spatial Analyst-työkalulla Slope. Slope-toiminnon avulla voitiin laskea maaston kaltevuus asteina ja esittää se rasteripintana. Hydrology-työkaluilla mallinnettiin veden virtausta rasteripinnoilla. Ensimmäiseksi hydrology työkaluista valittiin Fill, jolla täytettiin .DEM-raster. Jos jokin solu on syystä tai toisesta ”tyhjä”, se täytetään. Tämä vähentää virheitä seuraavista kerroksista.



Seuraavaksi laskettiin Flow Direction, tässä käytettiin Fill-työkalulla tehtyä rasteria pohjana. Flow Direction laskee ulos virtauksen suunnan jokaisesta solusta. Flow Accumulation-työkalulla laskettiin veden virtauksen määrää, tässä käytettiin Flow Direction-rasteria pohjana.

Pituus- ja jyrkkyystekijä LS laskettiin Raster Calculatorilla kaavalla:  $\text{Power}([\text{FlowACC}]^{1/22.1,0.4}) * \text{Power}(\sin([\text{Slope}] * 0.01745) / 0.09, 1.4) \times 1.4$  Haka-suluissa olevat kohdat tarkoittaa rasteri pohjaa, laskussa siis käytettiin Flow Accumulation-rasteripohjaa sekä Slope-rasteripohjaa.

Lopuksi laskettiin RUSLE-Raster, jossa Calculator-työkalulla kerrottiin kaikki tekijät yhteen:

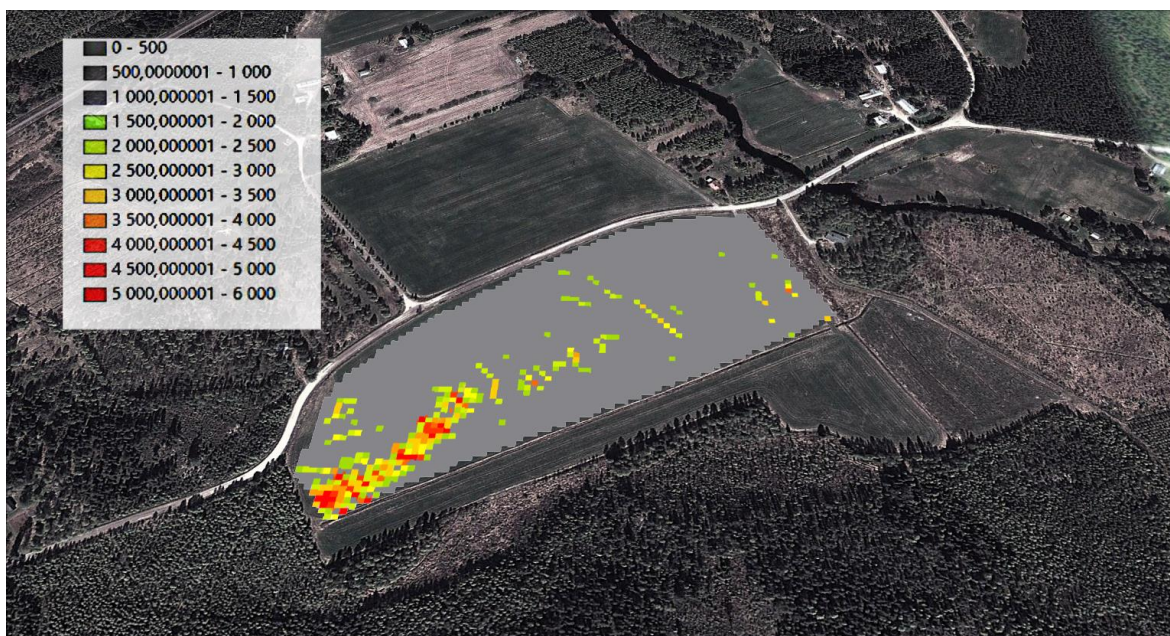
$$R * K * C * P * LS$$

Seuraavaksi peltolohko rajattiin polygoniksi, jotta peltoa voitiin tarkemmin analysoida. Peltolohkosta tehtiin polygon, catalog valikosta valittiin new, shapefile, polygon. Editor valikosta Create Features-toiminto josta valittiin polygon, ja piirrettiin polygon peltolohkolle. Seuraavaksi polygoniin siirrettiin tiedot RUSLE-rasterista Extract by Mask-työkalulla. Seuraavaksi voitaisiin tehdä suodatuksia peltolohkolle käyttämällä Conditional Con-työkalua, esimerkiksi voitaisiin suodattaa kaikki yli 5000kg/ha arvot, kiinteäksi 5000kg/ha arvoksi.

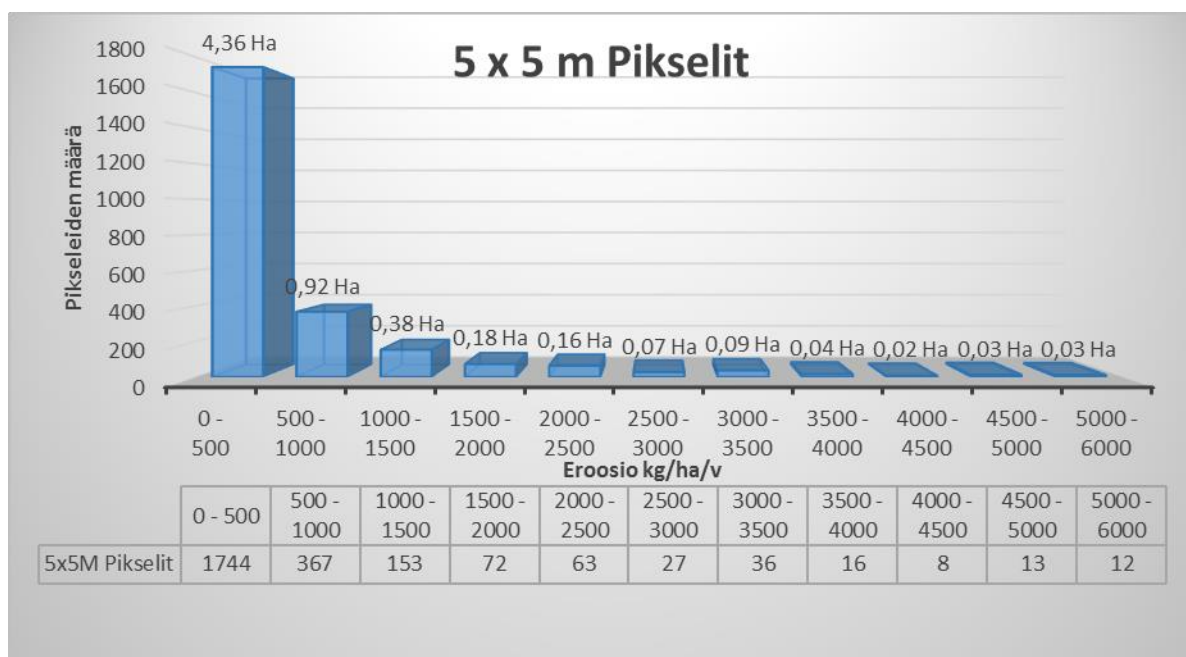
ArcMapin Zonal Histogram-työkalulla tehtiin polygonin arvoista taulukko. Taulukosta voitiin tarkastella kuinka monta 5 x 5 metrin pikseliä alueelle muodostui, sekä taulukosta saatiin selville alueiden väliset suhteet.

Taulukko 3. 5 x 5 metrin pikseleiden määrät

Eroosio kg/ha/v	Kpl	Ha	%
0 - 500	1 744	4,36	69,5 %
500 - 1 000	367	0,92	14,6 %
1 000 - 1 500	153	0,38	6,1 %
1 500 - 2 000	72	0,18	2,9 %
2 000 - 2 500	63	0,16	2,5 %
2 500 - 3 000	27	0,07	1,1 %
3 000 - 3 500	36	0,09	1,4 %
3 500 - 4 000	16	0,04	0,6 %
4 000 - 4 500	8	0,02	0,3 %
4 500 - 5 000	13	0,03	0,5 %
5 000 - 6 000	12	0,03	0,5 %
		6,3	100,0 %



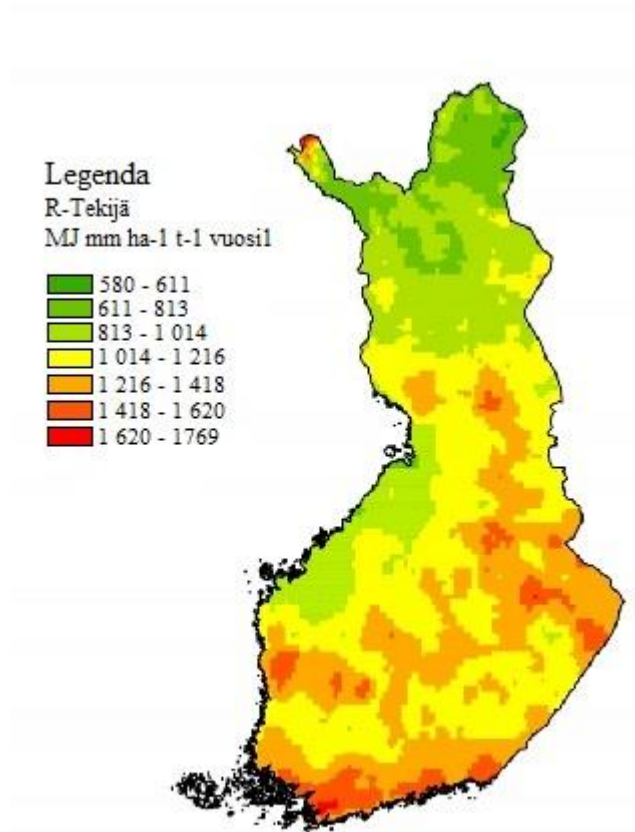
Kuva 4. Peltolohko polygon Google Earthiin upotettuna



Kuvio 1. Eroosioherkät alueet ovat pinta-alaltaan pieniä

### 5.1.1 Sadetekijä R

Sadetekijä muodostuu pitkän aikavälin mittaustuloksista, sadetekijä siis on arvio, joka on muodostettu Ilmatieteenlaitoksen mittaustulosten perusteella. MTT Raportti 133:ssa Sadetekijä R on arvioitu Renald ja Freimund (1994) laskentayhtälöä käyttämällä. Sadetekijä lasketaan isolle alueelle näin ollen peltokohtaisesti sitä ei tarvitse tarkentaa, mikäli tavoitteena on täsmälannoituksen suunnittelu. Peltokohtaisen sademäärän huomiointi nostaa todennäköisesti enemmän kustannuksia kuin saatuja hyötyjä, koska sademäärän paikkakohtainen määrittäminen on työlästä ja vaatii panostamista.



Kuva 5. R-tekijä Suomessa (Kuva: MTT 2014).

### 5.1.2 Maaperätekijä K

Veristechin EC-mittarilla voidaan paikkatietoon perustuvalla maaperämittauksella luoda useita karttoja pellon eri tekijöiden arvoista. Veristechin EC-mittaus perustuu yksinkertaisesti maan sähkönjohtavuuteen eli maanesteessä vapaana olevien suolojen liikkeeseen. Näin ollen sähkönjohtavuuden arvoon vaikuttaa vapaiden suolojen ohella myös maan fysikaalinen rakenne (hiukkaskoko ja tiiviyys) sekä kosteus. (Knaapi ym. 2017, 22 - 23.)

Mahdollista olisi siis tehdä pellon maaperätekijälle oma kerros ArcMap-ohjelmalla, joka muuttaisi eroosion määrää sähkönjohtavuuden perusteella ja on verrannollinen maan rakenteeseen. Tämä kuitenkin vaatisi tutkimista tarkemmin, miten paljon lohkoilla alueittainen maaperän muutos vaikuttaa eroosion

määrään. Lannoitus suunnitelman kannalta merkitys ei ole vielä tässä vaiheessa niin merkittävä.

### **5.1.3 Pituus- ja jyrkkyystekijä LS**

Rinteen pituus- ja jyrkkyystekijä on haasteellisin kohta RUSLE-mallin tekemisessä usealle peltolohkolle nopeasti ja tehokkaasti. Muut arvot ovat melko vakioarvoja, jotka eivät muuta eroosion määrää niin merkittävästi kuin LS-tekijä. Koska perinteisesti tarkimmat arvot ovat saatu mittaamalla käsin kentällä. Mikäli esimerkiksi urakoitsija haluaa tarjota lannoitus suunnitelmaa, joka perustuu RUSLE-malliin, on mahdotonta saada työ kohtuuhintaiseksi, mikäli LS-tekijä mitattaisiin käsin.

### **5.1.4 Maapeitetekijä C**

Maanpeitetekijä on koko peltolohkolle yleensä vakio, mutta mahdollistaa myös paikkakohtaisen muokkaamisen ja sen huomioon ottamisen mallin laskemisessa. Esimerkiksi jos tietyllä pellon osalla on rikkakasviongelmaa ja halutaan muokata vain kyseistä kohtaa, voidaan ArcMap-ohjelmalla luoda maapeitetekijälle oma kerros, johon voidaan merkitä alueet, jotka on muokattu ja merkitä suurempi C-arvo näille alueille. RUSLE-mallia laskettaessa ohjelma laskee suuremman eroosion muokatuille alueille.

Teknologian ja ohjelmistojen kehittyessä maapeitetekijän laskenta voisi olla tulevaisuudessa automaattista. Esimerkiksi traktorin satelliittipaikannus voisi suoraan piirtää peltolohkosta muokatut alueet karttaan, joka siirretään ohjelmaan, jolla voidaan laskea eroosiomalli sekä ottaa lannoitus suunnitelmassa huomioon maapeitetekijän muutokset.

### 5.1.5 Suojatekijä P

ArcMap-ohjelmalla voitaisiin laskea rinteiden kaltevuuksien perusteella sopivat paikat suojakaistalle. Onko suojakaistasta hyötyä rinteiden päällä, kun kaikki vauriota tapahtuu rinteiden alla? Suojakaistoja sekä –vyöhykkeitä kohdentamalla voitaisiin maksimoida viljely pinta-ala sekä samalla vähentää ravinteiden valumista ympäristöön.

## 5.2 Lannoitus suunnitelma

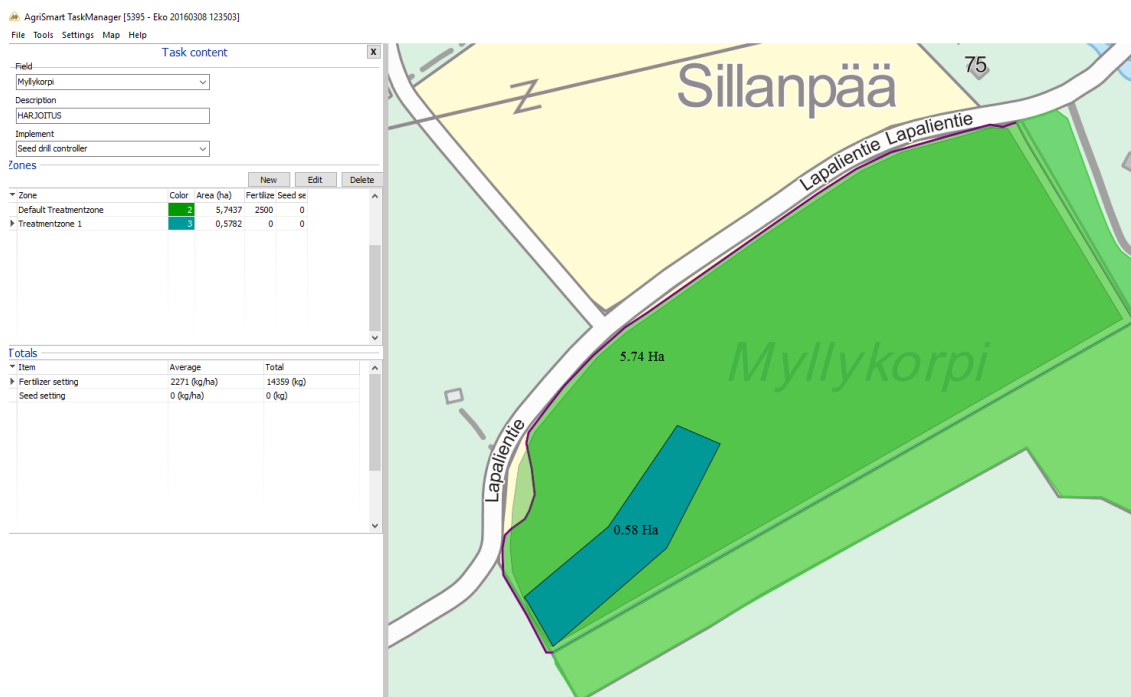
Lannoitus suunnitelman lähtökohtana voi olla useita eri tavoitteita. Tavoitteet määritellään tilakohtaisesti, voidaan tavoitella ympäristönsuojelullisia, taloudellisia tai sadon laatuun vaikuttavia tekijöitä.

Lannoittamatta jätettiin noin 10% alueista joilla eroosio oli suurinta. Ylimääräinen lannoite voitaisiin levittää toiselle lohkolle tai vaihtoehtoisesti samalle lohkolle paikkoihin missä eroosioriski on pieni ja joista halutaan parempi sato. Alueet joita halutaan lannoittaa voimakkaammin, voitaisiin määrittää esimerkiksi väärä värikuvauksella kasvukauden aikana tai hyödyntämällä edellisten vuosien satokartoitus tietoja. Alueen määrittäminen tehtäisiin ArcMap-ohjelman toimintoja hyväksikäyttäen sekä arvioimalla.

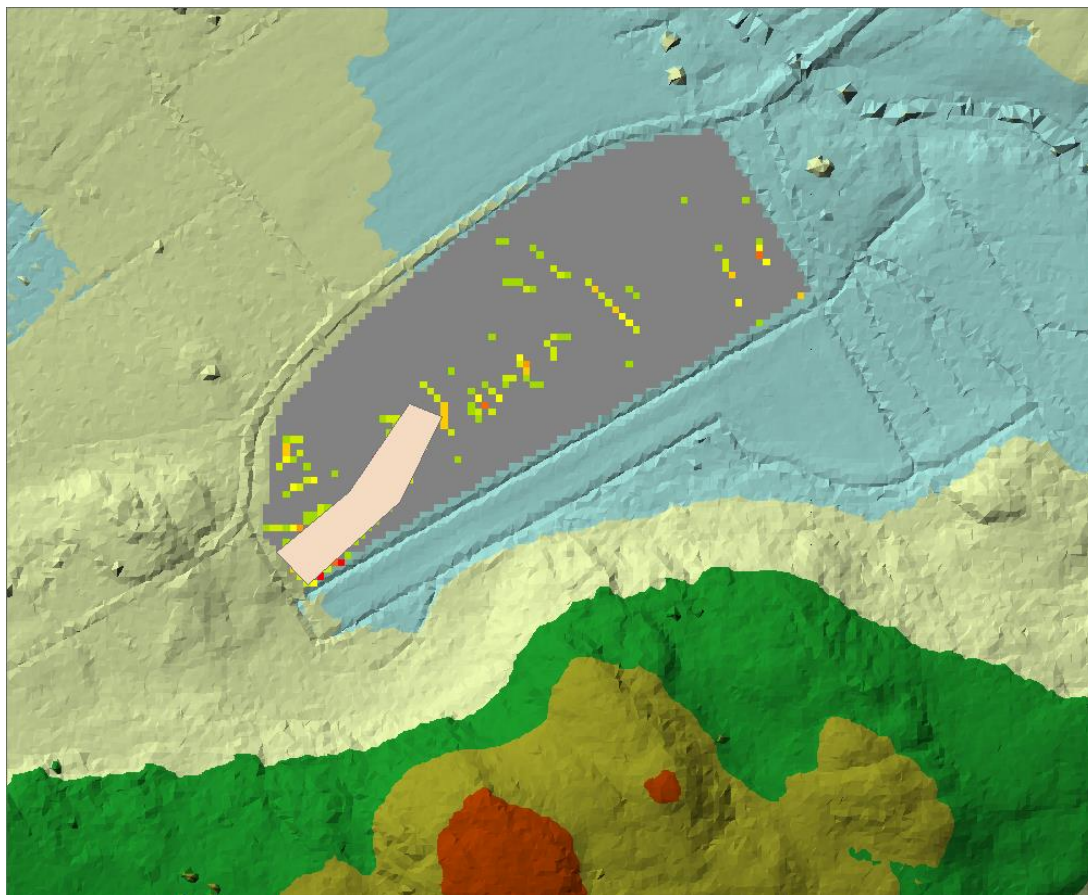
Lannoitus suunnitelma tehtiin Suonentiedon AgriSmart TaskManager-ohjelmalla. Ohjelmaan ladataan peltolohkojen tiedot Maaseutuviraston VIPU palvelun avulla. TaskManager-ohjelma tarvitsee liete vaunun Device Description Data-tiedon. Tiedon avulla TaskManager voi luoda taskit joilla liete vaunun määräämistä ohjataan. Ohjelmalla luodaan Treatmentzone alueet, joihin määritellään haluttu lietteen määrä. Lopuksi XML task data siirretään traktorin ISOBUS ohjaimeen. Lannoitus alueen määrittäminen tehtiin ArcMapilla luomalla shapefile johon muodostettiin polygon. Agrismartilla avataan Tools valikosta ”Open background map”, jonka jälkeen etsitään kansioista haluttu shapefile jonka jälkeen polygonin



perusteella voidaan piirtää halutut lannoitusalueet. Lannoittamatta jätetyn alueen kooksi muodostui noin 0,58 ha.



Kuva 6. TaskManager-lannoitussuunnitelma



Kuva 7. ArcMap-lannoitussuunnitelman polygon

## 6 Koneet ja välineet

Lannoitteen levitykseen tarvitaan Isobus-yhteensopiva traktori, jossa on GPS-laitteisto. Lietevaunuksi valitaan Joskinin valmistama lietevanu, jossa on varusteena lohkoautomaatio järjestelmä, jolla voidaan GPS-tiedon perusteella säätää automaattisesti levityisleveyttä. Sääto tapahtuu avaamalla tai sulkemalla levityslengkuihin asennetuilla venttiileillä.

Ohjainlaite säätää lietevaunun levityisleveyden GPS-tiedon perusteella. Tarkan paikkatiedon avulla vältetään päällekkäisajolta. Joskinin variable rate-control järjestelmällä voidaan määrittää 5 erilaista esivalittua määräsäätöarvoa. Ohjainlaitteelle syötetään lannoituskartta, jonka perusteella lietevaunu säätää syötetyn lietteen määrää lohkolle.



Kuva 8. Joskin lietevaunu määräsäätö automatiikalla (Kuva: FG Insight 2014).



## 7 Pohdinta

### 7.1 Johtopäätökset

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää pinnankorkeusmallista muodostetun eroosiomallin hyödyntämisen mahdollisuuksista peltojen täsmälannoituksessa. Pinnankorkeusmalli on mahdollista tehdä myös traktorin ajo-opastin laitteistoa käyttämällä. Traktorilla ajetaan pellolla ajo-opastimen tallentaessa tarvittavat korkeustiedot. Tässä työssä kuitenkin päädyttiin käyttämään Maanmittauslaitoksen ilmaista laserkeilausaineistoa sen helpon saatavuuden vuoksi.

RUSLE- eli eroosiomallin luominen on melko nopea toimenpide. Maanmittauslaitoksen Laserkeilausaineisto on rajattu 3 x 3 km:n alueisiin. Nopeinta on tehdä korkeusmalli suoraan kaikista tilan lohkoista, Minkä jälkeen peltolohkot rajataan erikseen. Rajaus on työläin vaihe, koska se piirretään käsin. RUSLE-malli lasketaan myös jokaiselle lohkolle erikseen, koska laskukaavassa käytetyt tekijät voivat muuttua lohkojen välillä. Lannoitus suunnitelman vaatimat rajaukset voidaan tehdä kaikki yhdellä kertaa käsin ja siirtää Agrismartiin.

Käytäntöön sovellettaessa pitäisi selvittää kuinka, paljon aikaa kuluu suunnitelman tekoon. RUSLE-mallin tarvitsee tehdä kerran, ja samaa suunnitelmaa voidaan käyttää myös seuraavina vuosina. Huomioon pitää kuitenkin ottaa maanpeitetekijän tai suojatekijän mahdolliset muutokset.

Nykytilanteessa käytännössä harvalla viljelijällä on mahdollisuus itse tehdä. RUSLE-malliin perustuvaa lannoitusta, koska tarvittava laitteisto on melko kallis, eikä taloudellisista hyödyistä tiedetä riittävästi. Ohjelmat ovat myös haasteellisia käyttää ja vaativat opettelua. Ympäristöllinen etu on varmasti merkittävä, mutta nykytilanteessa en usko viljelijöitä kiinnostavan ympäristöasiat, koska monilla tiloilla menee taloudellisesti huonosti. Tulevaisuudessa uskon suurimman kannustimen paikkakohtaiseen lannoitukseen olevan maataloustuet tai selkeä näyttö taloudellisista hyödyistä. Urakoitsijat tulevat olemaan avainasemassa tekno-

logian kehittymisen kannalta maataloudessa, koska urakoitsijat voivat panostaa laitteistoon sekä palveluihin enemmän.

## **7.2 Menetelmän ja toteutuksen arviointi**

Opinnäytetyön alkuvaiheessa rajausta oli karkea ja alkuun tuli liian laajasti perehdyttyä erilaisiin aineistoihin. Aloitusvaiheessa mietittiin, miten korkeusmalli peltolohkosta tuotetaan. Yhtenä vaihtoehtona oli asentaa GPS-laitteisto esimerkiksi mönkijään, jolla ajetaan peltolohko tarkasti ympäriinsä. Kyseinen tapa olisi kuitenkin ollut melko paljon aikaa vievää sekä laitteisto olisi pitänyt saada lainaan jostain. Laserkeilausaineiston hyödyntämisen suurin etu on sen nopeus: tarvittavan datan saa ladattua internetistä muutamassa minuutissa omalle koneelle. Laserkeilausaineiston tarkkuus on hieman huonompi, mikäli verrataan hyvissä olosuhteissa tehtyyn GPS-data keräimellä tehtyyn korkeusmalliin. Tähän opinnäytetyöhön kuitenkin laserkeilauksella tuotettu data on riittävän tarkkaa.

## **7.3 Tutkimuksen luotettavuus ja virhemahdollisuudet**

Tutkimuksessa käytetyssä laserkeilausaineistossa voi olla virheitä, esimerkiksi jos kuvaukset on suoritettu kasvukauden aikana, voi pellolla oleva nurmikasvusto tehdä useiden senttimetrien virheitä keilauksen maapisteisiin. Lietelantaa levitettäessä voi tulla myös virheitä, jotka johtuvat esimerkiksi tukoksista.

## **7.4 Oppimisprosessi ja ammatillisen kasvun ja kehityksen kuvaus**

Opinnäytetyön aihe oli itselleni alkuun vieras, mutta täsmäviljely aiheena on kiinnostanut itseäni aina ja olen pyrkinyt lukemaan sekä tutkimaan täsmäviljelyn mahdollisuuksia. ArcMap-ohjelmiston opettelu vei paljon aikaa sekä hermoja samalla huomasi, miten monipuolinen ohjelma on. YouTubeista löytyy erittäin paljon videoita, joissa opetetaan ohjelman käyttöä. Tulevaisuuden kannalta tie-

dän saaneeni erittäin paljon tietoa ja hyötyä myös itselleni opinnäytetyöstä. Olen varma, että tulen hyödyntämään pinnankorkeusmallin sekä täsmäviljelyn mahdollisuuksia tulevaisuudessa omalla tilalla. Tulevaisuuden kannalta työ oli todella opettavainen. Soittelin moniin suomalaisiin maatalousalan yrityksiin ja selvitin heidän lietevaunujen ominaisuuksia, ja onko niillä mahdollista tehdä täsmälevitystä. Samalla heidän kanssaan tuli keskusteltua täsmäviljelystä, ja millaiset suunnitelmat heidän yrityksellään on tulevaisuudessa täsmäviljelyn suhteen. Samalla myös sain kokemusta kanssakäymisestä työelämän edustajien kanssa. Yleensä hyvin nopeasti puhelun alussa huomasi, onko ihminen kiinnostunut puhumaan asiasta kanssani sekä auttamaan opinnäytetyössä.

Opinnäytetyöprosessin aikana opin hakemaan monipuolisesti tietoa eri lähteistä, ja etenkin englanninkielen lähteitä tuli tutkittua paljon.

Tulevaisuudessa täsmäviljely tulee olemaan avainasemassa peltoviljelyn kehittämisen kannalta. Täsmäviljelyn avulla on mahdollista ottaa ympäristön tarpeet huomioon, kun tavoitellaan korkeampia satoja, sekä parempaa kannattavuutta peltoviljelyssä.

## **7.5 Toimenpidesuosituksat ja jatkotutkimus**

Täsmälannoituksen yleistymisen kannalta olisi tärkeää saada uutta tutkimustietoa täsmäviljelyn ympäristönsuojelullisista sekä taloudellisista mahdollisuuksista. Mikäli tutkimuksilla pystyttäisiin osoittamaan ympäristönsuojelulliset vaikutukset, voitaisiin kehittää ympäristöperusteinen maataloustuki täsmälannoitukselle, jossa pyritäisiin vähentämään ympäristön ravinnekuormaa. Yksittäiselle viljelijälle täsmälannoitus kokonaisuuden ostaminen ei ole järkevää sen korkean hinnan takia. Tulevaisuudessa tilanne voi olla toisenlainen teknologian kehittyessä ja hintojen laskiessa.

Urakointia tekevien yritysten merkitys täsmälannoituksen yleistymiseen tulee olemaan merkittävä. Urakoitsijat vaihtavat koneitaan usein ja niiden käyttöaste

on korkea verrattuna maatilayrittäjien konekalustoon. Korkea käyttöaste mahdollistaa parempien lisävarusteiden hankkimisen.

Ohjelmistokokonaisuuden kehittäminen, joka hyödyntäisi Maaseutuviraston peltolohkokisteriä, sekä Viljavuuspalvelun tuloslaari maanäyte tietokantaa. Ohjelmaan voisi syöttää Maanmittauslaitoksen avoimen laserkeilaus aineiston tai vaihtoehtoisesti GPS-laitteistolla tuotetun korkeusmallin. Jokaiselle peltolohkoille voitaisiin määrittää muut RUSLE-mallin tekijät helposti, esimerkiksi maanpeite tekijä. Syötettyjen tietojen perusteella ohjelma voisi laskea kaikille tilan pelloille eroosiomallin yhdellä kertaa.

Jatkotutkimusta tarvitsee tehdä vielä lisää liittyen ympäristöhyötyihin. Väheneekö ravinteiden valunta ojiin, sekä miten pellon sadontuottokyky muuttuu, mikäli 10 %:ia pellon pinta-alasta jätetään lannoittamatta. Lannoitetaanko ”ylimääräisellä” lannoitteella peltolohkolta alueet, joilla on potentiaalia käyttää suurempi määrä ravinteita hyödyksi ja samalla tuottaa suurempi sato? Taloudellisuus myös olisi hyödyllistä laskea ja tutkia, voidaanko täsmälannoituksen käyttöä perustella taloudellisilla hyödyillä.

## Lähteet

- FG Insight. 2014. Joskin lietevaunu  
<https://www.fginsight.com/news/news/muck-and-slurry-joskin-gets-accurate-with-section-control-for-slurry-tankers251214-1516.10.4.2017>.
- Haapala. Täsmäviljelyn määritelmä ja kriteerit <http://www.aumanet.fi/tasmaviljely/maaritelma.html>. 12.4.2016.
- Knaapi, J. 2017. Eri Mittaustekniikoita. Teoksessa Oristo, U. & Vesterinen, T. (toim.) Koneviesti. Joensuu: Punamusta, 22 - 23.
- Luonnonvarakeskus. 2014. Suomen peltojen karttapohjainen eroosioluokitus  
<http://jukuri.mtt.fi/bitstream/handle/10024/482347/mttraportti133.pdf?sequence=1>. 12.4.2016.
- Maanmittauslaitos. 2016. GPS-mittaus  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/ammattilaisille/maastotiedot/koordinaatti-korkeusjarjestelmat/etrs89-euref-fin/satelliittimittaus-eli-gps-mittaus>. 12.4.2016.
- Maanmittauslaitos. 2016. Laserkeilaustekniikka.  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka>. 12.4.2016.
- Miettinen, S. 2006. GPS Käsikirja. Porvoo: Genimap
- Paikkaoppi. 2016. GIS <http://www.vesseli.fi/paikkaoppi/abc.htm>. 15.10.2016.
- Paikkatietokeskus. 2016.  
<http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/paikannussatelliittijarjestelmät>. 3.3.2016.
- Paikkatietokeskus. 2016. FGI-korkeusmalli.  
<http://www.fgi.fi/fgi/fi/teemat/korkeusmallit>. 12.4.2016.
- Poutanen, M. 1999. GPS-paikanmääritys. Hämeenlinna: Ursa.
- Ravinnerenki. 2017. Hankesuunnitelma <http://webdynasty.pohjoiskarjala.net/dynasty/kitee/kokous/201610449-6-1.PDF>. 25.6.2017.
- Space today. 2006. GLONASS.  
<http://www.spacetoday.org/Satellites/GLONASS.html>. 12.4.2016.
- Tekniikka&Talous 2008. Laserkeilauksen periaate.  
<http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metsa/2008-04-18/Laserkeilausmittaa-metsät-yhden-puun-tarkkuudella-3307352.html>. 10.4.2017.
- The Inertia 2016. Korkeusmalli <http://www.theinertia.com/mountain/drones-are-changing-avalanche-control-for-the-better/>. 10.4.2017.